

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕНОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ
В ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ЛВМ

В.А. Аммер, Р.Б. Калинин

Проведены исследования с применением системы компьютерного моделирования развитие процессов последовательного затвердевания стальной отливки при ЛВМ. Показано, что в условиях ЛВМ применение пенoкeрамического фильтра в литниковой системе дает возможность получения отливки без усадочных дефектов при меньшей металлоемкости прибыли

Ключевые слова: компьютерное моделирование, затвердевание металла, ЛВМ, пенoкeрамический фильтр

Пенoкeрамические фильтры (ПКФ) хорошо себя зарекомендовали при производстве отливок из сплавов цветных металлов [1,2]. Установлено, что применение их в качестве фильтрующих устройств обеспечивает эффективное рафинирование расплавов от неметаллических включений разной природы, являющихся результатом эрозии литейных каналов песчаных форм и взаимодействия расплава с газовой атмосферой. В последние годы появились сообщения о применении ПКФ при производстве чугунных и стальных отливок [3], что стало возможным благодаря разработке фильтров с более высокой термостойкостью. Отмечено повышение уровня механических свойств при установке фильтров на разных участках литниковой системы: в литниковой чаше, под стояком, в шлакоуловителях [4].

В данной работе проведено компьютерное моделирование развития процессов затвердевания в стальной отливке и прибыли в условиях литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Объектом исследования являлась отливка массой 12 кг и габаритными размерами 156x120x172 мм, в качестве металла использовалась сталь 35 ХМЛ. Отливка относится к группе ответственного литья и поэтому наличие в металле рыхлоты и пористости является недопустимым. В условиях производства отливку изготавливали способом ЛВМ по следующей технологии: керамическую десятислойную оболочку формовали в опорный наполнитель, прокаливали при температуре 960°C и при этой температуре производили заливку; температура заливаемого расплава составляла 1590°C; заливку осуществляли через прибыль открытого типа методами высокоразрешающей дефектоскопии в подприбыльной части отливки была обнаружена усадочная рыхлота размером 50x25x15 мм. Увеличение объема прибыли оказалось неэффективным даже при соотношении $M_{пр} / M_{отл} = 2,7$.

Численное моделирование было выполнено с применением программы LVMFLOW.

Компьютерное моделирование процесса затвердевания металла подтвердило наличие дефекта данного типа. Это позволило установить адекватность результатов моделирования и производства.

На рис.1 представлены эскизы компьютерной (расчетной) модели и отливки, а также расположение условных термопар для анализа температурного состояния расплава.

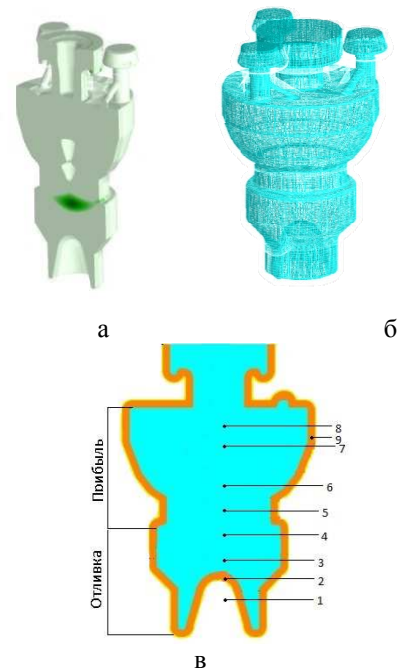


Рис.1. Компьютерные модели: в сечении отливки с усадочными дефектами (раковинной и рыхлотой) - а); для анализа температурно-временных полей в затвердевающем металле - б); расположение условных термопар в отливке (3 - 4) и прибыли (5 - 8) - в)

Температурно – временные зависимости были получены при помощи условно установленных в модель отливки термопар (программа LVMFLOW это позволяет). Их расположение было следующим: 1 – в опорном наполнителе; 2 - 9 - на рабочих поверхностях керамической оболочки (2 –на нижней, 9 – в районе прибыли); 3 – в среднем сечении отливки; 4 – в подприбыльной области; 5,6,7, 8 –в сечениях, различающихся по высоте прибыльной части, рис.1,в. Численный расчет температурного состояния расплава в процессе его теплообмена с формой в программе LVMFLOW начинается после того, как заполнение формы полностью завершилось. Показания условных термопар давали возможность оценить способность расплава к сохранению жидкотекучего состояния в разные моменты време-

ни и в разных сечениях. Эти состояния в соответствии с представлениями о последовательном характере затвердевания [5,6] представлены схемой, рис.2

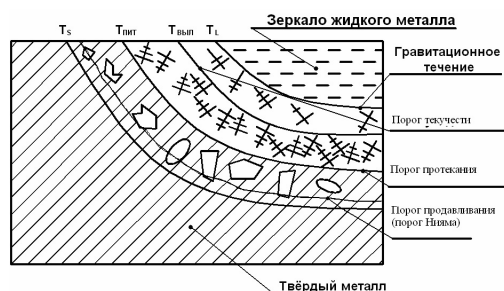


Рис. 2. Схема двухфазного состояния сплава - а); эскиз отливки со встроенным в литниковую систему фильтрующим устройством - б)

Расплав в процессе охлаждения от температуры ликвидуса (T_L) до температуры солидуса (T_S) можно характеризовать уравнениями и соответствующими им состояниями: в интервале температур T_L и выливаемости ($T_{\text{выл}}$) -уравнением Навье – Стокса, которое определяет порог текучести; в интервале температур $T_{\text{выл}}$ и питания $T_{\text{пит}}$ - уравнением Дарси (при этом течение становится фильтрационным; возникает условный порог протекания); в интервале температур $T_{\text{пит}}$ и T_S расплав теряет способность к текучести (это определяет порог продавливания и возможность возникновения в отливке усадочной пористости).

Возникновение усадочной пористости в реальной отливке и в ее компьютерной модели наблюдается в подприбыльной области. Это можно объяснить тем, что расплав в этой области переохлаждается до значений, при которых расплав теряет способность к гравитационному течению, что соответствует порогу продавливания. Питание затвердевающего металла из прибыли при этом становится недостаточным.

Для усиления питающей способности металла из прибыли был введен в конструкцию литниковой системы в модельном варианте был введен пенокерамический фильтр (ПКФ), рис.2.б. Общий вид и внутренняя структура фильтра показаны на рис.3.

При выборе места установки фильтра исходили из следующих соображений. Пенокерамический

фильтр обеспечивает рафинирование от неметаллических включений, поэтому установка его в месте подвода расплава в полость формы непосредственно под прибылью, является оправданной. Фильтр в данных условиях ЛВМ имеет начальную температуру 960 °С, которую он приобрел в процессе прокаливания формы, и поэтому он слабо переохлаждает расплав на этапе заливки и после заполнения формы

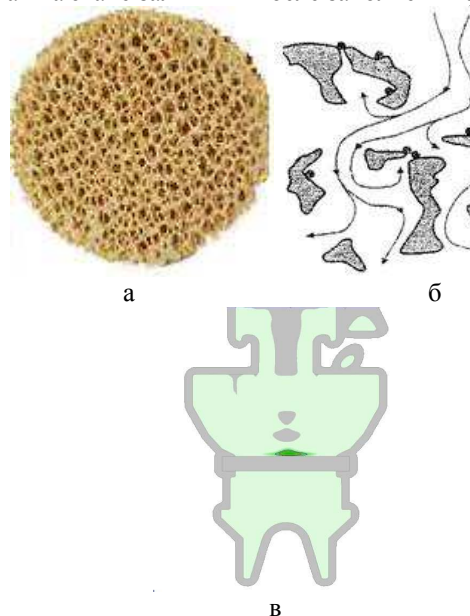


Рис. 3. Морфология пористой структуры ПКФ – а);схема внутренней структуры каналов фильтра – б); эскиз отливки с усадочным дефектом в прибыли – в)

Заполнение полости формы благодаря лабиринтно – ячеистой структуре фильтра происходит в режиме, близком к ламинарному. Установлено [3], что время заполнения формы при наличии фильтра в литниковой системе увеличивается незначительно. Это связано с его технологическими особенностями: пористость составляет от 80 до 84 % , размер ячеек в свету от 2 до 3 мм; толщина фильтра 10 мм; толщина стенок в отдельной ячейке от 0,3 до 0,4 мм.

Компьютерное моделирование процесса затвердевания металла в отливке с применением пенокерамического фильтра в литниковой системе показало, что усадочная рыхлота в теле отливки не обнаруживается, рис.3 (в). Усадочные дефекты типа раковина и рыхлота полностью переходят из тела отливки в прибыльную часть.

С целью установления влияния фильтра при ЛВМ на усадочные дефекты был проведен сравнительный анализ двух вариантов охлаждения металла в отливке и в прибыли от момента завершения заливки расплава в форму до полного его затвердевания: вариант А – без ПКФ, вариант Б –с применением ПКФ в литниковой системе, установленного в подприбыльной области отливки; все остальные условия были одинаковыми. Температурно – временные зависимости сравниваемых вариантов приведены на рис.4

Анализ полученных численным расчетом по программе LVMFLOW зависимостей показал следующее.

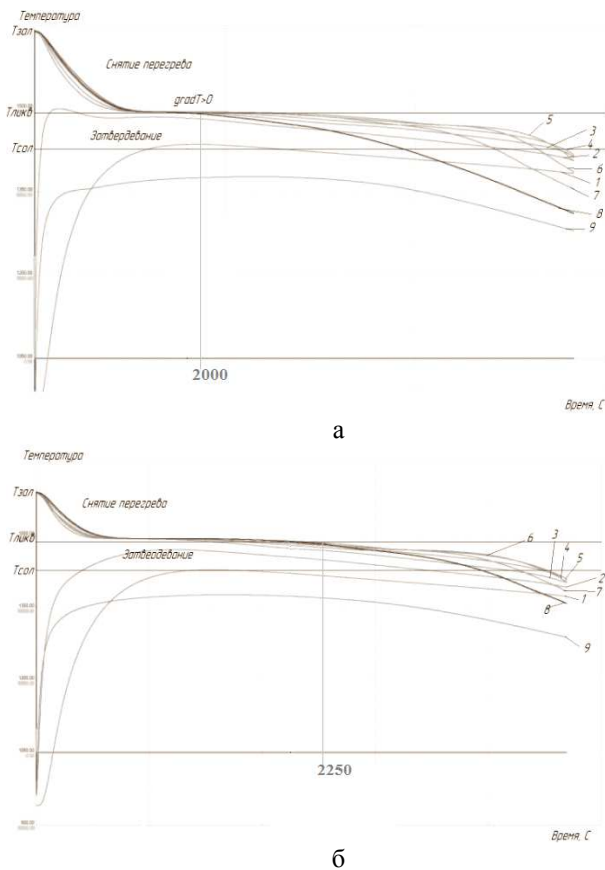


Рис. 4. Температурно – временные зависимости охлаждения металла при ЛВМ: вариант А – а), вариант Б – б)

Охлаждение металла в двух вариантах судя, по «показаниям» условных термпар 8; 7; 5; 6, происходит последовательно, но более ускоренно в варианте А (примерно на (20...25%).

Металл в прибыли и подприбыльной области отливки при варианте Б сохраняет температуру, близкую к температуре ликвидуса, дольше (2250 с и 2000 с при варианте А). Время, в течение которого металл в подприбыльной области отливки и над фильтром находится в эффективном интервале кристаллизации, примерно в 1,33 раза больше в условиях варианта Б.

Направленный характер затвердевания металла в отливке выражен более сильно в условиях вариан-

та Б. При этом металл в верхних ярусах отливки находится в жидкотекучем состоянии, ограниченном с одной стороны порогом текучести и с другой - порогом протекания.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования убедительно свидетельствуют о том, что в условиях ЛВМ имеется возможность получения стальных отливок без усадочных дефектов за счет усиления направленности затвердевания с применением пеночерamicеских фильтров в подприбыльной области затвердевающего металла.

На примере данной отливки был рассмотрен модельный вариант ее получения без дефектов с применением ПКФ, но с оптимизированным объемом прибыли. Показано, что такая возможность имеется. Верхняя граница по уменьшению металлоемкости прибыли ограничена значением 40 %; при этом эффективность технологии литья с применением ПКФ, оцененная по ТВГ, может быть повышена в 1,5...1,6 раза.

Литература

1. Андрушевич А.А. Применение пеночерamicеских фильтров при получении отливок из вторичных алюминиевых сплавов // Литейное производство.– 1998.– №5.– С. 18-20.
2. Тен Э.Б. Эффективность фильтрационного рафинирования жидких металлов при различных лимитирующих факторах // Изв. вузов. Черная металлургия. –1997. – №11.– С.51 - 54.
3. Сапожников В.И. Применение пеночерamicеских фильтров в технологии литейного производства цветных металлов и чугуна // Литейщик России.–2005.–№8.–С.17 - 20.
4. Чернышов Е.А., Королев А.В., Комиссаров А.Н., Шульдрин О.Ю., Евлампиев А.А.// Литейное производство.– 2012.– №6.–С.31 -33.
5. Тихомиров М.Д. Вероятностные аспекты моделирования тепловых и усадочных задач / М.Д. Тихомиров // Труды 111 Международной научно– практической конференции.–2005.–С.24-28.
6. Маврин, С. В. Особенности выплавки высоколегированного сплава 06ХН28МДТ в открытых индукционных печах [Текст]/ С.В. Маврин, В.А. Аммер, А.А. Щетинин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009.– Т.5.– № 6.– С.95–100.

Воронежский государственный технический университет

APPLICATION OF CERAMIC FOAM FILTERS IN GASTING SYSTEM AT LVM

V.A. Ammer, R.B. Kalinin

Investigated using computer simulation program for the development of sequential processes solidification of cast steel with LVM. It is shown that in the conditions of use of ceramic foam filter LVM in gating system allows obtaining castings without shrinkage defects in metal at lower profits

Key words: computer simulation, solidification of metal, LVM, ceramic foam filters